

ЦИФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ РАДІОМЕТРА

Головін В. А., к.т.н, доцент; Бондарець С. В., магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна

Сучасні пристрої цифрової обробки сигналів та програмне забезпечення дозволяють значно спростити керування та поліпшити параметри модуляційних радіометрів, використовувати адаптивні методи при виконанні вимірювань. Рівень використання таких методів – це обробка сигналів після квадратичного детектора.

На вхід модуляційного радіометра[1,2], періодично, з частотою генератора модуляції, поступають шумові сигнали від антени $S_A(t)$ та генератора опорного сигналу $S_O(t)$. Сигнал описується виразом:

$$S(t) = S_A(t)m(t) + S_O(t)(1 - m(t)), \quad (1)$$

де $m(t)$ — сигнал модуляції.

Кожний сигнал займає інтервал часу що дорівнює половині періоду прямокутного сигналу модуляції. Частота перемикавання підбирається таким чином, щоб за один період перемикавання коефіцієнт підсилення високочастотного смугового підсилювача не міг істотно змінитися.

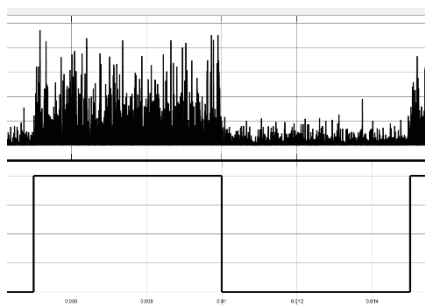


Рисунок.1. Вид сигналу після квадратичного детектора

Квадратичний детектор виконує операцію $S(t)^2$, сигнал (рис.1.) [3] стає одно полярним, постійна складова сигналів несе інформацію про потужність сигналу антени та опорного генератора. Різниця цих сигналів використовується для визначення зміни сигналу антени та масштабується в термінах температури антени.

Енергетичний спектр сигналу після квадратичного детектору має трикутну форму[2] з максимальною частотою, яка дорівнює смузі пропускання смугового фільтра високочастотного підсилювача Δf . Виконаємо дискретизацію сигналів $S_A(t)^2$ та $S_O(t)^2$. Частота дискретизації $f_d = 2\Delta f$, а інтервал між вибірками сигналу $\Delta t = 1 / 2\Delta f$. Якщо T_m період сигналу $m(t)$, то кількість відліків на інтервалі сигналу антени і опорного сигналу $N = T_m / 2\Delta t$. Отримаємо дві послідовності $s_a(i)$ та $s_o(i)$ $i = 1, 2, \dots, N$, визначаємо середні значення сигналів \bar{s}_a та \bar{s}_o на півперіодах сигналу модуляції. Обчислимо сигнал на виході синхронного детектора:

$$s_d(j) = \bar{s}_a(j) - \bar{s}_o(j), \quad (2)$$

де j — індекс періоду генератора сигналу модуляції.

Середні значення $\bar{s}_a(j)$ та $\bar{s}_o(j)$ шумових сигналів будуть випадковими величинами і $s_d(j)$ також буде випадковою величиною. На виході синхронного детектора отримаємо випадкову послідовність, яка відображає результат вимірювання температури антени. Частота відліків вихідного сигналу програмного синхронного детектора дорівнює частоті сигналу модуляції. Час інтегрування (визначення середнього) дорівнює $\tau = T_m / 2$, що недостатньо для отримання високої роздільної здатності (3) радіометра [2].

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{N}} = \frac{T_{sys}}{2\sqrt{\Delta f \tau}} \quad (3)$$

Для підвищення чутливості радіометра виконуємо інтегрування послідовності $s_d(j)$, обчислюємо $\bar{s}_d(j)$ на вибраній кількості M періодів модуляційного сигналу:

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{N}} = \frac{T_{sys}}{2\sqrt{\Delta f \tau M}} \quad (4)$$

В модельному прикладі сигнали антени та опори моделюються генераторами шумів з нормальним розподілом та середнім значенням рівним нулю. Середньоквадратичне значення генератору шуму опорного сигналу не змінюється і дорівнює одиниці, а генератора сигналу антени змінюється від 0,5 до 0,50512 за $M=2000$ періодів модуляційного генератора. На рис.2. показано графік різниці сигналів (2):

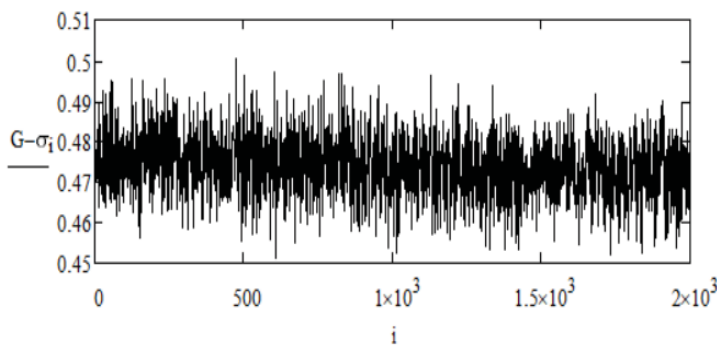


Рисунок 2. Різниця середніх значень сигналів антени і опорного генератора

Для виділення постійної складової використані методи згладжування: метод ковзної середньої з різним значенням розміру вікна, метод згладжування гаусовим ядром, метод поліноміальної регресії. В методі ковзної середньої вікно згладжування відповідає

371M. Якщо вибрати частоту модуляційного генератора 1кГц, час інтегрування становитиме приблизно 0,18сек. Теоретична різниця сигналів антени та опори дорівнює 0,5, розрахована в діапазоні 0,4755–0,476, діапазон зміни сигналу теоретичний 0,005, розрахований 0,004.

Сучасні АЦП, наприклад 12 бітний ADC12DJ3200, працюють в діапазоні від 0 до 10ГГц, що надає можливість використовувати запропонований алгоритм в радіометрах з смугами Δf до 4ГГц. Обробка інформаційного (різницевого) сигналу виконується на низьких частотах і не пред'являє

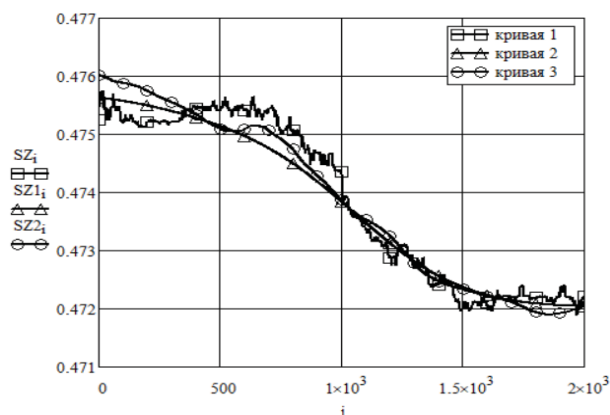


Рисунок 3. Результати згладжування :
1 — ковзна середня, 2 — гаусове ядро,
3 — поліноміальна регресія

великих вимог до швидкості передачі даних, їх обробки та зберігання. Програмні засоби дозволяють легко змінювати параметри алгоритмів обробки інформації, тактових генераторів, способів індикації результатів вимірювань, потужність опорних джерел шуму, підтримувати стабільність коефіцієнту підсилення смугового високочастотного підсилювача, підтримувати мінімальну різницю

потужності між сигналами антени та опорного генератора для зменшення впливу на результати змін коефіцієнту підсилення.

Перелік посилань

1. R. H. Dicke, "The measurement of thermal radiation at microwave frequencies," Rev. Sci. Instrum., vol. 17, no. 7, pp. 268–275, Jul. 1946.

2. Шарков, Е. А. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы : в 2 т. / Евгений Шарков.— Т. 1.— М. : ИКИ РАН, 2014.—544 с.

3. Головін В.А. Модель приймача радіометра / Головін В.А., Романенко Т.В./ Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи», 19-25 березня 2018, Київ, —с. 198—201

Анотація

Описується алгоритм цифрової обробки сигналу на виході квадратичного детектора в модуляційних радіометричних системах.

Ключові слова: радіометр, квадратичний детектор, синхронний детектор, АЦП.

Аннотация

Описывается алгоритм цифровой обработки сигнала на выходе квадратичного детектора в модуляционных радиометрических системах.

Ключевые слова: радиометр, квадратичный детектор, синхронный детектор, АЦП.

Abstract

The algorithm of digital signal processing at the output of a quadratic detector in modulation radiometric systems is described.

Keywords: radiometer, square-law detector, synchronous detector, ADC.